

# **AVALIAÇÃO DA TOPOGRAFIA DO PARQUE ESTADUAL DO TURVO, RS, UTILIZANDO O MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO ASTER-GDEM VERSÃO 2**

*Evaluation of the topography of the Parque Estadual do Turvo, RS, using the digital elevation model ASTER-GDEM version 2*

**William Gaida<sup>1</sup>**  
**Joceli Augusto Gross<sup>2</sup>**  
**Fábio Marcelo Breunig<sup>3</sup>**  
**Lênio Soares Galvão<sup>4</sup>**  
**Thiago Teles<sup>5</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria - UFSM**  
**Programa de pós-graduação em Geografia - PPGGEO**  
e-mail: williamgaida@yahoo.com.br

**<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria - UFSM**  
**Programa de pós-graduação em Geografia - PPGGEO**  
e-mail: gross\_joceli\_augusto@hotmail.com

**<sup>3</sup>Universidade Federal de Santa Maria - UFSM**  
**Departamento de Engenharia Florestal – DEF**  
e-mail: fabiobreunig@gmail.com

**<sup>4</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**  
**Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR**  
e-mail: lenio@dsr.inpe.br

**<sup>5</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**  
**Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto - PGSER**  
e-mail: ts.teles@hotmail.com

## **RESUMO**

O sensoriamento remoto proporcionou um acréscimo significativo na capacidade de obtenção de dados da superfície terrestre, o que viabilizou a realização de estudos cada vez mais complexos envolvendo grandes áreas. Entre estes estudos, pode-se destacar a modelagem topográfica do terreno, que apresenta muitas aplicações em estudos geomorfológicos, hidrológicos, geográficos e biológicos. Esta técnica possibilita uma visão em macro escala do relevo o que permite a elaboração de uma série de produtos baseados nas diversas variáveis topográficas como declividade, altimetria, orientação de vertentes, entre outras, permitindo a análise e a interpretação de grandes regiões da superfície terrestre. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo a realização da modelagem topográfica da área do Parque Estadual do Turvo (PET), no sul do Brasil, utilizando o modelo digital de elevação gerado a partir das imagens do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Digital Elevation Model Version 2* (ASTER-GDEM V2), visando contribuir para futuros estudos na referida área de estudo. A metodologia empregada foi desenvolvida por meio de ferramentas próprias a modelagem topográfica para a obtenção de mapas de altimetria, declividade do terreno, orientação de vertentes, relevo sombreado e o mapa de fator de iluminação. Estes dados foram quantificados em classes, permitindo a caracterização topográfica da área de estudo. Os resultados mostraram que o modelo digital de elevação ASTER-GDEM V2 mostrou-se eficiente para a concretização do objetivo proposto e possibilitou a caracterização da topografia. Com a geração de uma imagem de relevo sombreado verificou-se as linhas estruturais do relevo, marcando os interflúvios e pequenos vales onde os

cursos de água formam uma rede de drenagem com um padrão dendrítico. De maneira geral, o PET tem altitudes variando de 200 a 360 metros. A maioria da área do PET apresenta declividades entre 2 e 15 graus. Verificou-se uma maior concentração de vertentes orientadas para o Norte. Em relação ao fator de iluminação, no inverno o PET apresenta uma maior área de relevo sombreado em relação às áreas iluminadas.

**Palavras chaves:** Modelagem Topográfica, Sensoriamento Remoto, Relevo, Geomorfologia, Análise Espacial.

## ABSTRACT

Remote sensing has provided a significant improvement in the ability to obtain data from the Earth's surface, which enabled the conduction of increasingly complex studies covering large areas. Among these studies, we can highlight the topographic modeling, which has many applications in geomorphological, hydrological, geographical and biological studies. This technique enables large areas coverage insight of the relief, which allows the generation of several products based on topographic variables such as slope, altitude, aspect, among others, allowing the analysis and interpretation of large regions of the Earth's surface. In this context, the present study aimed to conduct the topographic modeling of Parque Estadual do Turvo (PET) in South Brazil, using digital elevation model derived from the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model Version 2 (ASTER-GDEM V2), aiming to contribute to future studies in that area of study. The methodology was developed by the topographic modelling tools to obtain maps of altitude, terrain slope, aspect, shaded relief and the illumination factor. These data were quantified according classes, allowing the topographic characterization of the study area. The results showed that the digital elevation model ASTER-GDEM V2 was efficient for the characterization of topography. With the generation of a shaded relief image structural lines of the relief were found, marking the interfluves and small valleys where rivers form a network with a dendritic drainage. In general, the PET altitude ranges from 200 to 360 meters. The most of PET area presents slopes between 2 and 15 degrees. It was verified larger amounts of North oriented surfaces. Regarding the illumination factor, the PET presented more shaded surfaces in the winter when compared to the illuminated ones.

**Keywords:** Topographic modeling, Remote sensing, Relief, Geomorphology, Spacial analysis.

## 1 INTRODUÇÃO

O advento do sensoriamento remoto proporcionou um acréscimo significativo na capacidade de obtenção de dados da superfície terrestre o que viabilizou a realização de estudos cada vez mais complexos envolvendo grandes regiões (JENSEN, 2009). Destes estudos, podem-se destacar aqueles relacionados à modelagem topográfica do terreno. Esta técnica possibilita uma visão em macro escala do relevo e que permite a elaboração de uma série de produtos baseados nas diversas variáveis topográficas como a declividade, altimetria e orientação de vertentes, entre outras. Estas são de fundamental importância em pesquisas das variadas áreas do conhecimento científico (CARVALHO; LATRUBESSE, 2004), como por exemplo, os estudos florestais.

Na análise do terreno, a modelagem topográfica tem sido útil na previsão de zonas de erosão e deposição de materiais decorrentes do escoamento superficial (MOORE *et al.*, 1988). Em hidrologia esta técnica auxilia na identificação de redes de drenagem, delimitação de bacias hidrográficas e modelagem hidrológica (BEVEN; MOORE, 1993), com resultados que podem ser incluídos em modelos ecológicos ou climáticos globais (BEVEN, 1995). De acordo com Fleming (1988); Elmes *et al.* (1991); Tomer *et al.* (1995) a modelagem topográfica vem sendo utilizada nos estudos do uso da terra, cobertura vegetal e para o bom desenvolvimento da agricultura de precisão.

Um fator de grande importância e que trouxe significativos avanços para a realização de estudos referentes à modelagem de terrenos são os Modelos Digitais de Elevação (MDE). Estes, obtidos por meio de sensores orbitais têm representado uma alternativa frente à carência de levantamentos topográficos, sobretudo no Brasil, onde boa parte da Cartografia de base não abrange todo o território nacional ou possui mapeamentos de base em escalas demasiadamente generalizadas para utilização da informação topográfica (VALERIANO, 2005).

Carvalho e Latrubesse (2004) destacam que em virtude da escala espacial, a modelagem topográfica obtida por meio de modelos digitais de elevação é mais eficiente e precisa do que a obtida por meio de cartas topográficas. Um dos modelos digitais de elevação utilizados em estudos de topografia é o *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Digital Elevation Model Version 2* (ASTER-GDEM V2) obtido por meio do sensor ASTER, a bordo do satélite Terra. Este modelo é elaborado a partir de pares estereoscópicos de imagens do ASTER, com dados da faixa do infravermelho próximo do espectro eletromagnético (YAMAGUCHI *et al.*, 1999; SOUZA; MATRICARDI, 2013). Dentre os aspectos positivos deste modelo digital de elevação, destacam-se a representação de quase toda a superfície terrestre, a construção de um produto com 30 metros de resolução espacial de forma direta, além da inexistência dos chamados “voids” (pontos com ausência de informações) devido ao fato deste modelo ser obtido por processo estereoscópico (ABRAMS *et al.*, 1999). Na versão dois, muitos artefatos na versão original foram removidos, gerando um produto de melhor qualidade.

Aires *et al.* (2012) utilizaram dados topográficos do sensor ASTER para análise geomorfológica do Platô de Teresópolis, a escarpa da Serra do Mar e as áreas adjacentes, no Rio de Janeiro, com o auxílio da técnica de seppômen (*summit level map*). No trabalho foram correlacionados os resultados da análise geomorfológica com o tectonismo Cenozoico. De acordo com os autores, os dados e técnicas utilizadas possibilitaram a definição dos domínios geomorfológicos na área de estudo e a caracterização dos mesmos de acordo com suas feições geomorfológicas, considerando as altitudes, desníveis entre feições, suas orientações dentre outros parâmetros obtidos do modelo digital de elevação utilizado.

Reis *et al.* (2000) utilizaram as imagens do sensor ASTER para o mapeamento de unidades geomorfológicas em uma bacia experimental do cerrado. No referido trabalho, os autores destacaram que a partir do Modelo Digital do Terreno citado e dos mapas derivados, foi possível a geração da composição colorida consistente e a delimitação aperfeiçoada das unidades geomorfológicas, o que contribuiu para o mapeamento geomorfológico sistemático e para a orientação dos levantamentos pedológicos.

Na área de estudo do presente trabalho, o Parque Estadual do Turvo - RS, as técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo utilizadas para análises da dinâmica florestal (ROSA *et al.*, 2013). No entanto, até o presente momento inexistem estudos voltados exclusivamente para a análise da topografia. Um dos fatores que justificam o levantamento de dados topográficos da superfície terrestre, logo da área em questão, é a influência do relevo nas quantidades de radiação eletromagnética recebida pela vegetação para um mesmo posicionamento solar (LIESENBERG *et al.*, 2007; POCEWICZ *et al.*, 2007). Segundo Canavesi *et al.* (2010) em consequência desta diferenciação nas quantidades de radiação solar, ocorrem significativas diferenças na radiância refletida pela vegetação que são registradas pelos sensores remotos, fazendo com que o mesmo tipo de vegetação apresente características espectrais distintas, o que dificulta as análises da vegetação (CANAVESI *et al.*, 2010).

Frente ao exposto, o objetivo do presente trabalho é realizar a modelagem topográfica da área do Parque Estadual do Turvo (PET) no Estado do Rio Grande do Sul utilizando o modelo digital de elevação ASTER-GDEM V2, e caracterizá-la com relação às variáveis topográficas: altimetria, declividade do terreno, orientação de vertentes e fator de iluminação.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho, o Parque Estadual do Turvo, está localizada no município de Derrubadas, na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 27°07' a 27°16' latitude Sul e 53°48' a 54°04' longitude Oeste (SEMA/RS, 2005). O PET está localizado junto ao rio Uruguai, perfazendo limites ao norte com o Estado de Santa Catarina (município de Itapiranga) e a província argentina de Misiones, a leste com o Rio Parizinho e a oeste com o Rio Turvo, ao sul o parque perfaz limites com propriedades rurais do município de Derrubadas (VASCONCELOS *et al.*, 1992) e com os arroios Calixto e Bonifácio (SEMA/RS, 2005) como é ilustrado pela Figura 1.

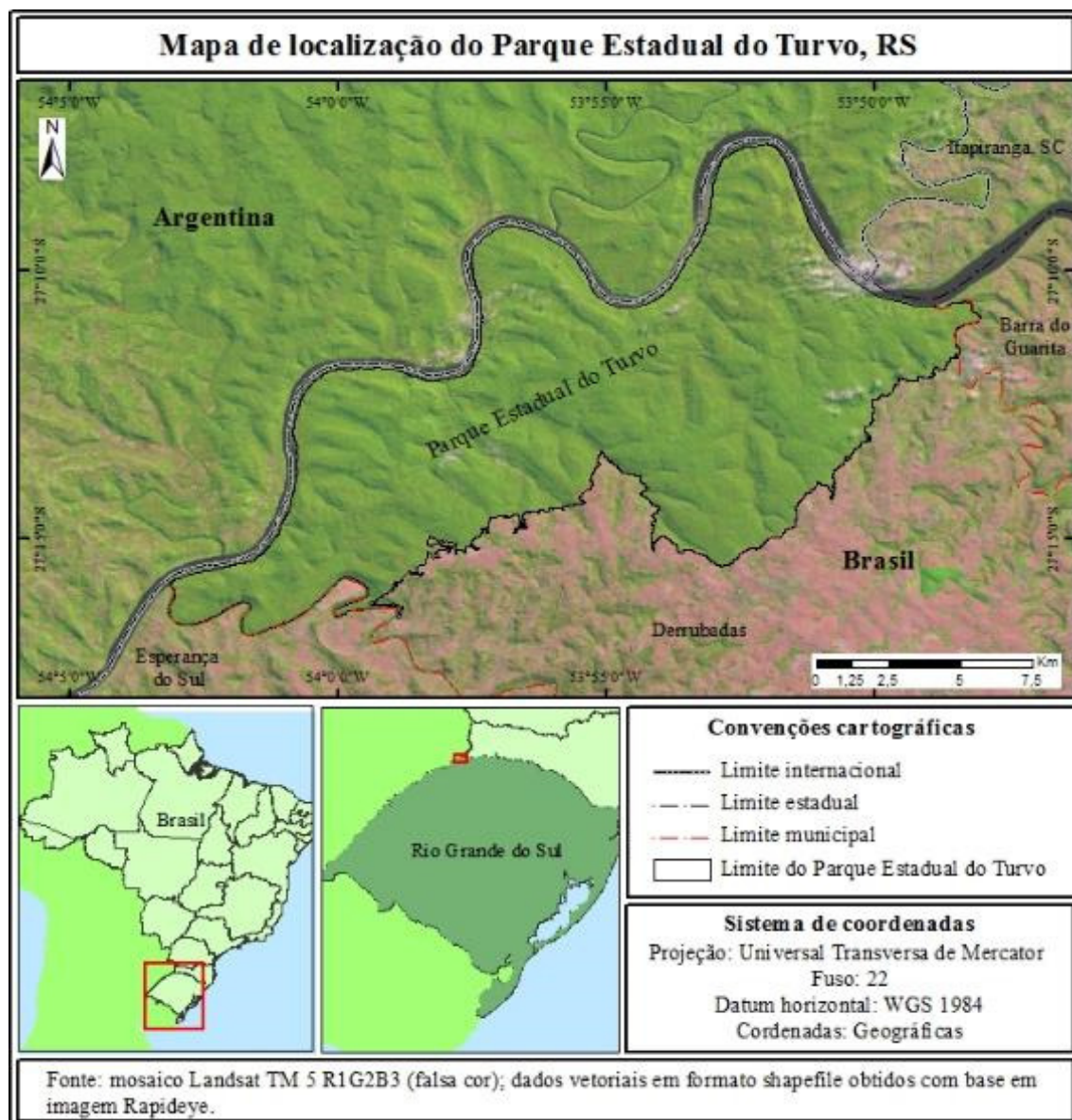


Fig. 1: Mapa de localização do Parque Estadual do Turvo.

O Parque Estadual do Turvo está inserido na Região Hidrográfica do Uruguai (SEMA/RS, 2005), sendo drenado pelo rio Uruguai e seus afluentes da margem esquerda ao longo do limite norte da área do parque, os quais constituem quatro bacias hidrográficas distintas, sendo o Rio Parizinho, o Arroio Mairosa, o Arroio Calixto e o Rio Turvo. Além dos cursos d'água formadores das bacias hidrográficas existentes no parque, existem ainda formações de pequenas lagoas formadas pela acumulação da água da chuva sobre terrenos planos e elevados dos divisores de água.

Em relação ao clima, a área de estudo apresenta clima subtropical do tipo Cfa (classificação de Köppen), onde as temperaturas médias do mês mais quente (janeiro) são superiores a 22° C e no mês mais frio (julho) a temperatura oscila entre -3° C a 18° C (SEMA/RS, 2005). A Figura 2 apresenta as médias de temperatura mensais para o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2012, com dados da estação meteorológica de Iraí.

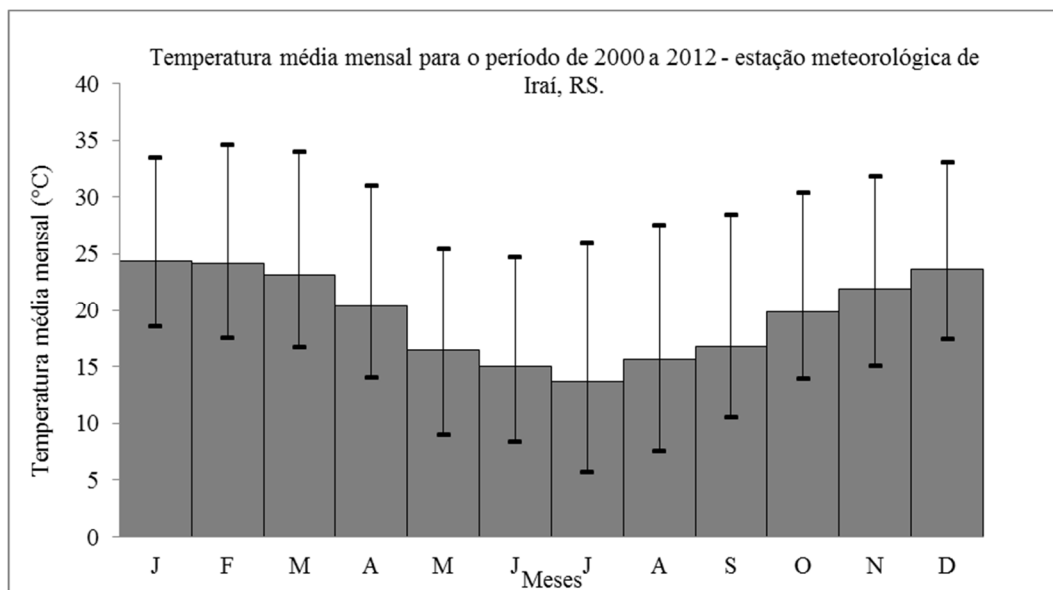


Fig. 2: Gráfico representativo das médias mensais de temperatura para o período de 2000 a 2012 para a área de estudo. Os valores médios mensais mínimos e máximos são indicados no gráfico. Fonte: dados processados do INMET.

No aspecto de distribuição de chuvas estas ocorrem ao longo de todo o ano, embora ocorram meses com índices de precipitação mais elevados como abril, maio, junho e outubro com precipitações médias superiores a 165 mm (SEMA/RS,2005), e também meses nos quais as precipitações médias são significativamente inferiores como fevereiro, julho, agosto e dezembro, com médias de precipitação inferiores a 115 mm (SEMA/RS, 2005). Ao todo a área de estudo apresenta uma média anual pluviométrica de 1665 mm (SEMA/RS, 2005). A Figura 3 apresenta as médias pluviométricas mensais para o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2012, com dados da estação meteorológica de Iraí.

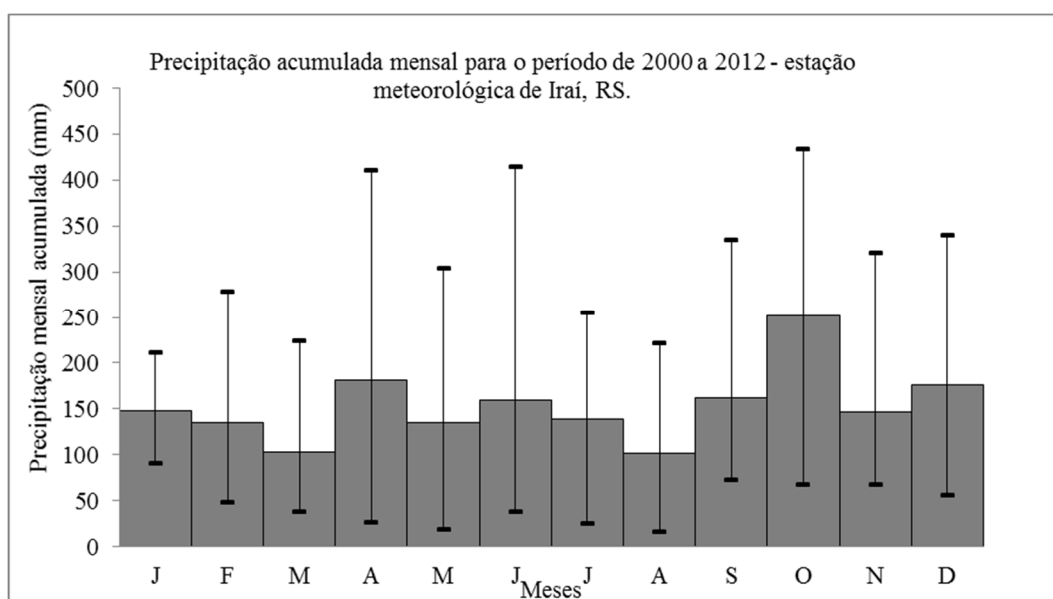


Fig. 3: Gráfico de acumulação mensal de chuvas para o período de 2000 a 2012 para a área de estudo. Os valores mínimos e máximos são indicados no gráfico. Fonte: dados INMET.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a aquisição dos dados de elevação foi utilizado o produto *Global Digital Elevation Model Version 2* (GDEM V2) gerado a partir de um par estereoscópico entre as bandas *Nadir e Off-Nadir* do infravermelho próximo do sensor ASTER. O modelo digital de elevação ASTER-GDEM versão 2 foi adquirido por meio do repositório da ERSDAC (*Earth Remote Sensing Data Analysis Center*) disponível no endereço: [gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp](http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp).

Os produtos derivados do MDE foram gerados a partir do módulo *Topographic* do aplicativo ENVI 5.0 (EXELIS, 2013). Com a utilização da ferramenta *Topographic modeling* obteve-se dados em forma de cartogramas sobre cada variável.

Utilizando-se como base o modelo digital de elevação ASTER-GDEM V2 foram adquiridos os dados referentes à declividade, orientação de vertentes, altimetria, curvatura horizontal e vertical das vertentes e fator de iluminação.

Após a realização do processo de extração dos dados das variáveis topográficas foi gerada para cada variável uma nova imagem em escala de cinza contendo as informações para cada parâmetro da modelagem topográfica. Na sequência foi realizado o processo de classificação de acordo com as características de cada variável por meio da ferramenta *Density Slice* do aplicativo ENVI 5.0 da seguinte maneira: a orientação de vertentes foi classificada de acordo com as seguintes classes: Norte (0° a 22,5°; 337,5° a 360°), Nordeste (22,5° a 67,5°), Leste (67,5° a 112,5°), Sudeste (112,5° a 157,5°), Sul (157,5° a 202,5°), Sudoeste (202,5° a 247,5°), Oeste (247,5° a 292,5°) e Noroeste (292,5° a 337,5°). A classificação da variável topográfica declividade foi elaborada seguindo a classificação baseada nas definições de Granell-Pérez (2001), a saber: 0° - 2°, 2° - 5°, 5° - 15°, 15° - 25°, 25° - 35°, 35° - 45° e >45°. A altimetria foi adquirida por meio do fatiamento do modelo digital de elevação ASTER-GDEM utilizando a ferramenta *Density Slice* no aplicativo ENVI 5.0 em intervalos de 40 em 40 metros de altitude, obtendo-se 9 intervalos que contemplaram a amplitude altimétrica local. Os referidos intervalos altimétricos são: 120 – 160, 160 – 200, 200 – 240, 240 – 280, 280 – 320, 320 – 360, 360 – 400, 400 – 440 e 440 – 480.

O fator de iluminação, que indica as áreas com maior e menor disponibilidade de radiação para a vegetação, foi gerado a partir do modelo proposto por Lamparelli *et al.* (2011), conforme ilustra a equação 01.

$$FI = \sqrt{\left(\cos(\varphi_{x,y} - \varphi_s) + \left(\cos(\theta_{x,y} - \theta_s)\right)^2\right)} \quad (\text{Eq. 01})$$

De acordo com a Equação 1 tem-se:  $\varphi_{x,y}$  corresponde à orientação das vertentes ou ângulo azimutal da imagem;  $\varphi_s$  corresponde ao ângulo azimutal solar no momento de aquisição da imagem;  $\theta_{x,y}$  corresponde à declividade ou ângulo zenital da imagem; e  $\theta_s$  corresponde ao ângulo zenital solar no momento da aquisição da imagem.

As classes de iluminação foram definidas considerando o ajuste visual. Os valores menores que um indicam vertentes voltadas para o lado oposto ao Sol, e valores acima de um representam pixels com maior iluminação. Desta forma, a imagem foram definidas três classes de acordo com Canavesi (2008): iluminado (1,05 a 1,5), plano (0,9 a 1,05), escuro (0,5 a 0,9).

Após a obtenção dos dados, para cada feição topográfica foi calculada a área para cada classe. O cálculo das áreas foi realizado por meio da transformação de cada classe de cada feição topográfica em regiões de interesse (*Regions of Interest - ROI*) que permitiram a obtenção dos valores de área em quilômetros quadrados para cada classe por meio da ferramenta *ROI Tool*.

## 4 RESULTADOS

A base para a obtenção dos resultados do presente trabalho configura-se no modelo digital de elevação ASTER-GDEM, do qual foi possível a geração do mapa de relevo sombreado, exposto na Figura 4. De maneira geral, esta representação ressalta as irregularidades do relevo, possibilitando uma melhor visualização de superfícies rebaixadas e elevadas ou áreas de degradação e agradação, linhas estruturais expressivas que definem compartimentos topográficos e suas características, com relação à ondulação do relevo.



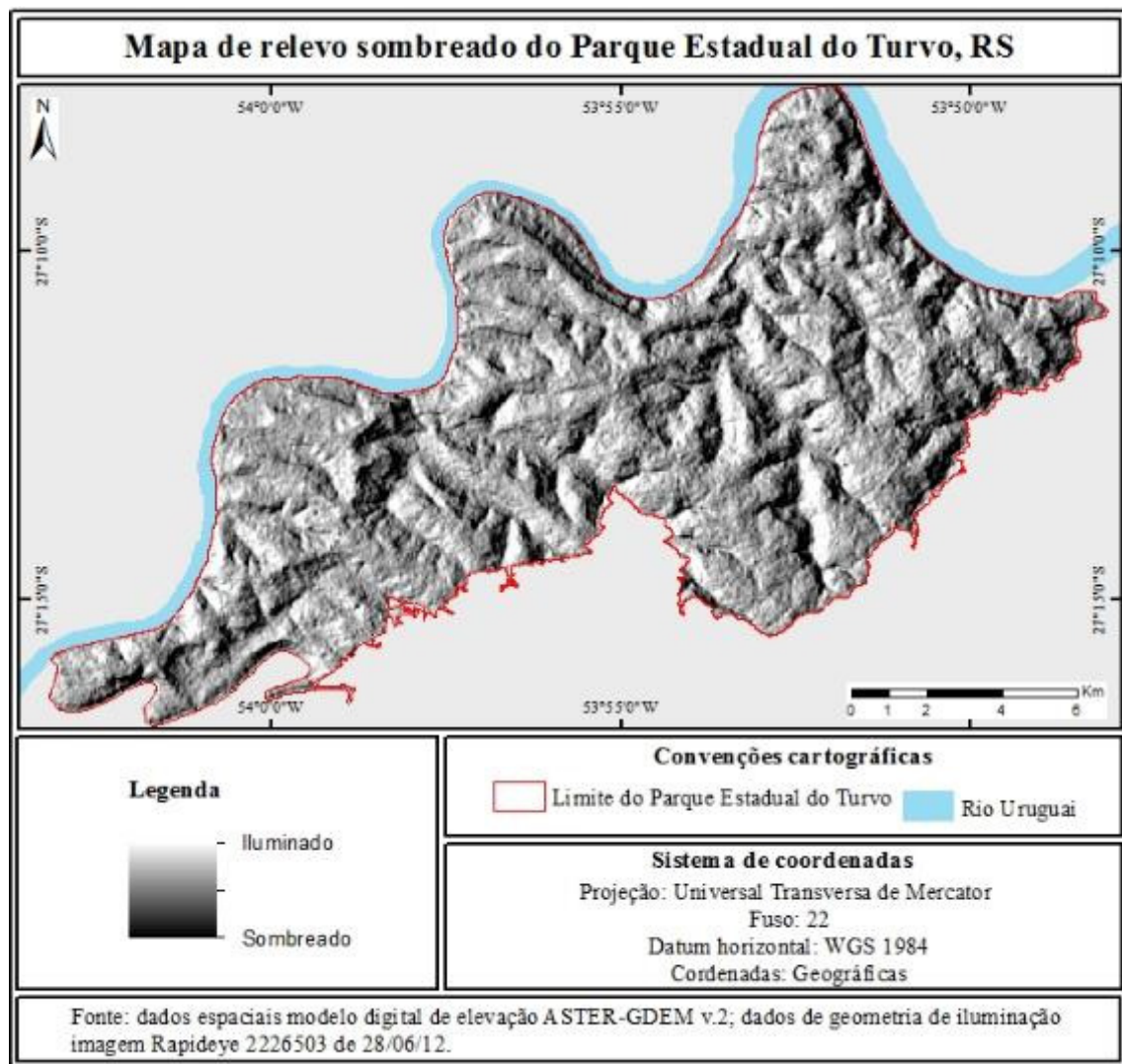


Fig. 4: Mapa de relevo sombreado do Parque Estadual do Turvo, RS.

Outra importante utilização de informações sobre o sombreado do relevo é nos estudos de Sensoriamento Remoto da vegetação, referentes às diferenciadas respostas espectrais de um mesmo tipo de vegetação exposta a condições de sombra ou luminosidade, ocasionadas, dentre outros fatores, pelas irregularidades do relevo e variação do ângulo de iluminação solar ao longo do ano.

Analisando os dados obtidos foram identificados pequenos vales cortados por cursos de água em sua maioria perfazendo um padrão de drenagem dendrítico, típico de áreas com embasamento rochoso predominantemente basáltico. Em alguns locais observaram-se também cursos de água paralelos, que podem ser identificados no setor Sudoeste da área de estudo expostos na Figura 5, que representa a rede de drenagem da área do Parque Estadual do Turvo. Com os dados expostos no mapa de drenagem da área de estudo foram identificados três cursos de água principais, sendo os Arroios Parizinho, Salto Grande e Calixto. No entanto, apenas o Arroio Salto Grande está inteiramente dentro da área do parque. Os demais recebem influência das áreas adjacentes aos setores Sul, Sudoeste e Leste, onde o principal uso da terra é a agricultura com o cultivo de grãos, principalmente a soja e o milho.

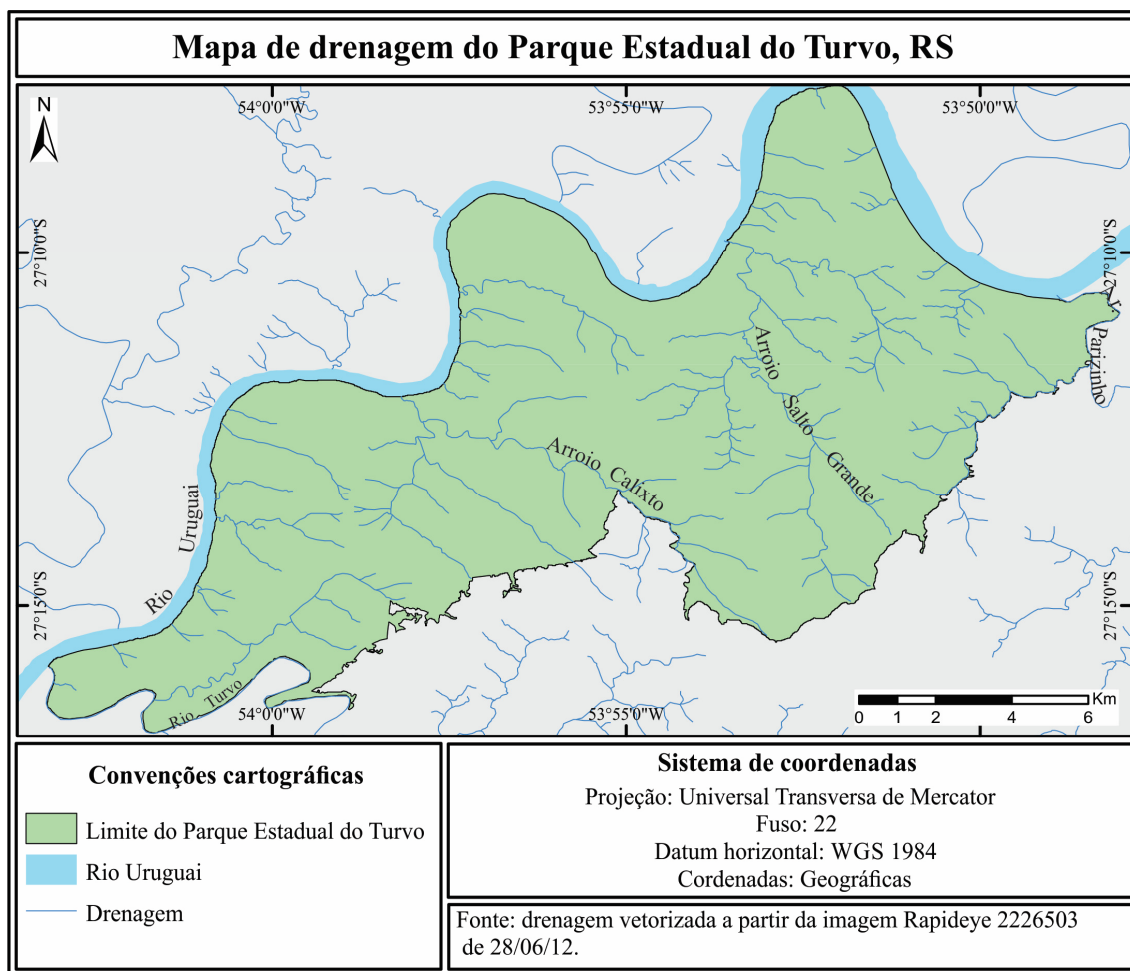


Fig. 5: Mapa da rede de drenagem do Parque Estadual do Turvo, RS, as drenagens adjacentes também são representadas.

A altimetria foi representada pelo mapa hipsométrico ou mapa temático de elevação (Figura 6). Trata-se de uma área com altitudes variando de 120 a 480 metros, logo, verifica-se uma amplitude altimétrica de 360 metros. A área foi dividida em nove classes hipsométricas, com espaçamento de 40 metros entre curvas de nível. As maiores cotas altimétricas ocupam 0,67% dos 169,64 km<sup>2</sup> da área total do parque. Estas representadas pela classe de 400 a 480 metros de altitude localizam-se principalmente nos interflúvios dos arroios Calixto, Salto Grande e um dos afluentes do Arroio Parizinho. Ao longo da margem do rio Uruguai pertencente ao parque, encontra-se as cotas de menores altitudes (120 a 160 metros) correspondendo a 1,8% da área total. Nas margens dos cursos de água que cortam a área do parque, encontram-se altitudes de 160 a 200 metros correspondendo a 11,13% da área. Estas também podem ser verificadas nas proximidades do Rio Uruguai e Rio Turvo (limite Oeste do parque). A classe altimétrica com maior área ocupada é a de 280 a 320 metros, correspondendo a 18,86% do total da área de estudo. Considerando as quatro classes altimétricas com as maiores áreas ocupadas, 63,67% da área do Parque Estadual do Turvo têm altitudes variando de 200 a 360 metros (Tabela 1).



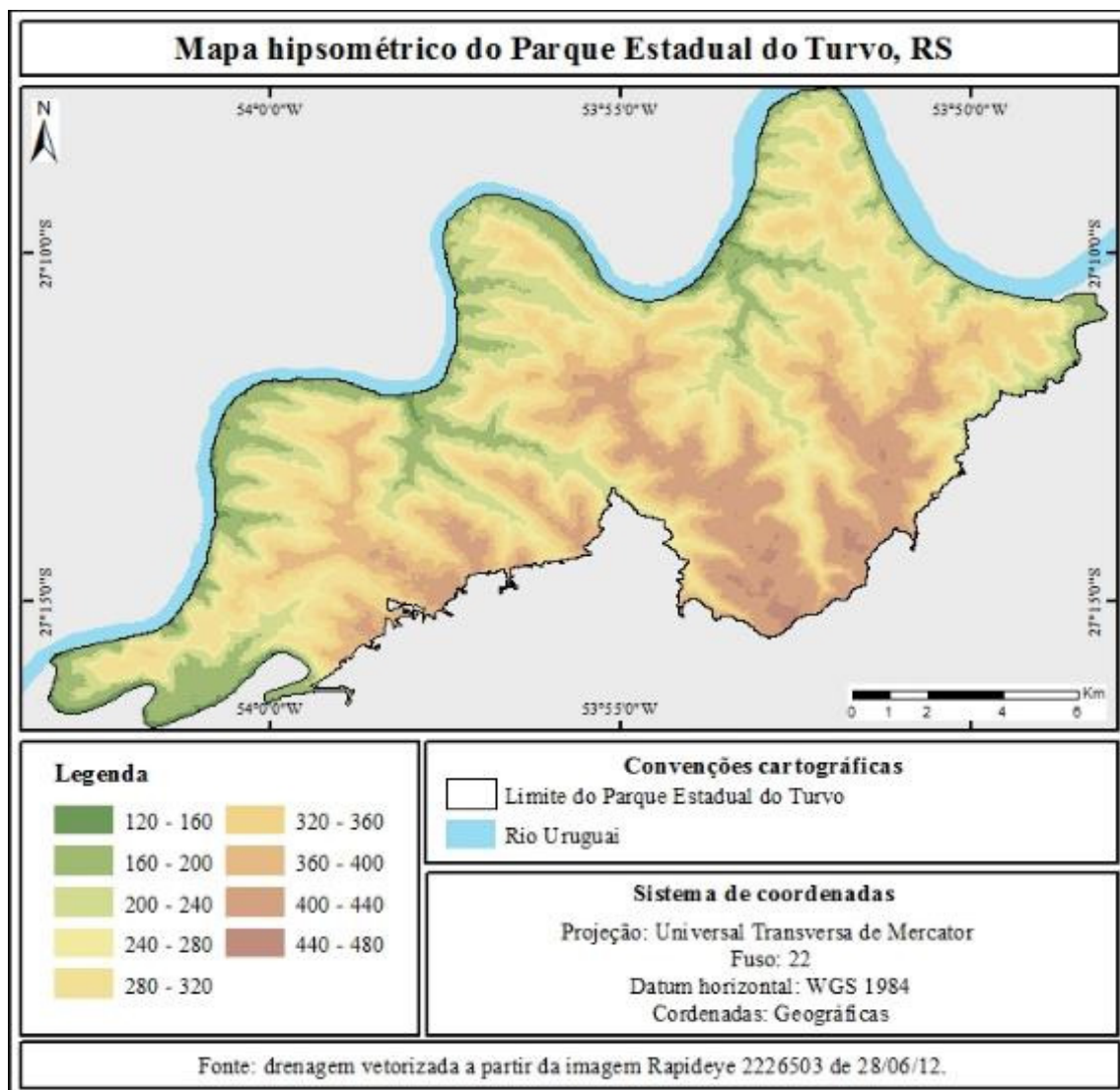


Fig. 6: Mapa hipsométrico do Parque Estadual do Turvo.

TABELA 1: DADOS HIPSONÉTRICOS DA ÁREA DE ESTUDO.

Classes hipsométricas (metros)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
120 a 160	3,05	1,80
160 a 200	18,87	11,13
200 a 240	25,98	15,30
240 a 280	20,92	12,31
280 a 320	31,98	18,86
320 a 360	29,16	17,19
360 a 400	19,10	11,26
400 a 440	19,45	11,47
440 a 480	1,14	0,67
Total	169,4	100

O conhecimento das declividades de uma determinada área da superfície terrestre é de fundamental importância para a aplicação e interpretação geomorfológica. Estas podem ser utilizadas no planejamento territorial, principalmente no que se refere aos usos da terra, haja vista, a estreita relação dos diferenciados níveis de declividades, com processos de transporte gravitacional, como por exemplo, o escoamento superficial, a erosão e os deslizamentos de terra e ainda tombamentos de fragmentos de rochas dentre outros. A declividade é a inclinação maior ou menor do relevo em relação ao horizonte. Entre dois pontos no terreno a declividade pode ser medida pela inclinação da reta que os une (GUERRA, 1980). Em imagens, a declividade é estimada pela análise dos desníveis entre pixels vizinhos (VALERIANO, 2008).

Na análise das declividades no Parque Estadual do Turvo (Figura 7) verificou-se que dos 169,64 km<sup>2</sup> da área de estudo, 49,33% tem de 2 a 5 graus declividade. Estas se localizam principalmente em topos de morros e várzeas de rios que formam a rede de drenagem da área de estudo. Declividades variando de 5 a 15 graus marcam as áreas intermediárias entre as encostas com maiores declividades e topos de morros, perfazendo um total de 28,45% da área do parque. De maneira geral 77,8% dos 169,64 km<sup>2</sup> da área de estudo, tem declividades variando de 2 a 15 graus. Dos 22,2% restantes, as áreas mais significativas têm declividades de 0 a 2 graus com 10,65% e de 15 a 25 graus com 8,37%. As áreas de altas declividades, com mais de 45 graus, perfazem no total 2,26% e declividades variando de 25 até 45 graus, somam 0,97% do total da área do parque (Tabela 2).

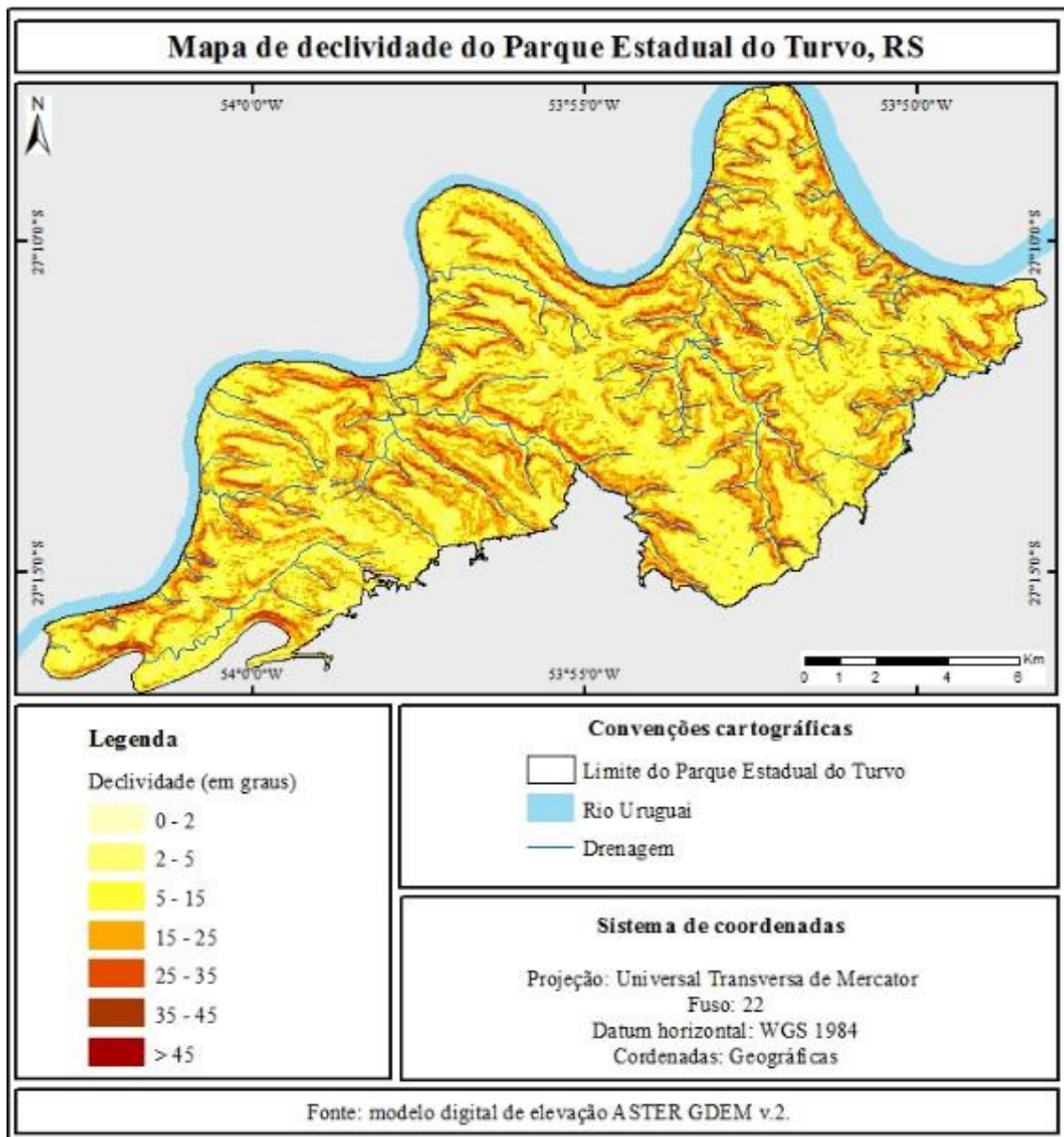


Fig. 7: Mapa de declividade do Parque Estadual do Turvo.

TABELA 2: DADOS DE DECLIVIDADES DA ÁREA DE ESTUDO.

Classes de declividade (Graus)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0 a 2	18,05	10,65
2 a 5	83,62	49,33
5 a 15	48,24	28,45
15 a 25	14,15	8,37
25 a 35	1,58	0,93
35 a 45	0,04	0,04
> 45	3,84	2,26
Total	169,64	100

Outro aspecto avaliado foi à orientação de vertentes (Figura 8) que pode ser considerado um parâmetro de fundamental importância para correlações com a vegetação, determinando o grau de insolação devido o movimento aparente do Sol durante o dia e ano. Segundo Oliveira (1984) sabe-se que determinados povoamentos vegetais estão muito sujeitos à direção climática predominante que é determinada pela exposição topográfica a radiação solar. No Parque Estadual do Turvo, considerando-se a orientação de vertentes em oito direções foi verificado que as vertentes orientadas para Norte ocupam uma área correspondente a 19,55% da área de estudo (Quadro 1). No entanto, as vertentes orientadas a Leste apresentam menor área ocupada.

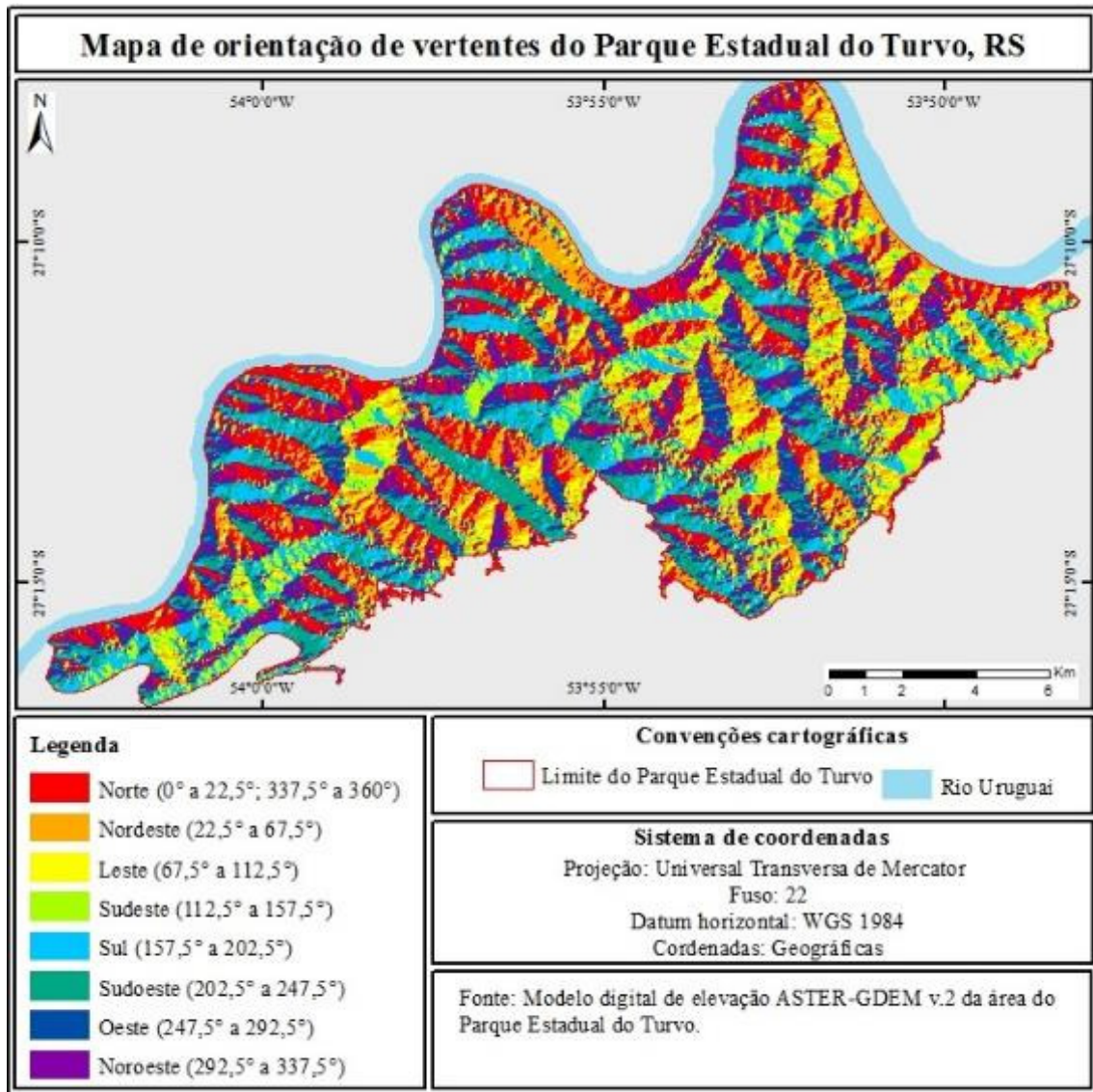


Fig. 8: Mapa de orientação de vertentes do Parque Estadual do Turvo.

Classes (Orientações das vertentes)	Área (km²)	Área (%)	Soma dos percentuais da área das vertentes
Leste	13,54	7,98	Leste, Nordeste, Norte, Noroeste, Oeste = 64,29%
Nordeste	23,9	14,09	
Norte	33,17	19,55	
Noroeste	21,66	12,77	
Oeste	16,79	9,90	
Sudoeste	24,1	14,21	Oeste, Sudoeste, Sul = 35,72%
Sul	22,3	13,15	
Sudeste	14,18	8,36	
Total	169,64	100	100

Quadro 1: Dados de orientação de vertentes



Considerando a trajetória do sol em um dia (no sentido Leste para Oeste) no Hemisfério Meridional, foram somados os percentuais de área ocupada pelas vertentes Leste, Nordeste, Norte, Noroeste e Oeste obtendo-se 64,29% da área total do parque. Este resultado indica que a maioria da área do parque recebe incidência direta de radiação solar, principalmente naquelas vertentes voltadas para o Norte, Noroeste e Nordeste, haja vista o ângulo solar. As vertentes direcionadas a Sudoeste, Sul e Sudeste, somam 35,72% da área do parque, e são as vertentes de menor incidência de radiação solar.

Os dados especializados do fator de iluminação para a área de estudo (Figura 9) mostram que as condições do relevo como a grande presença de vales proporcionam uma grande proporção de áreas com sombreamento para a data dos parâmetros utilizados na elaboração do fator (28 de junho de 2012).

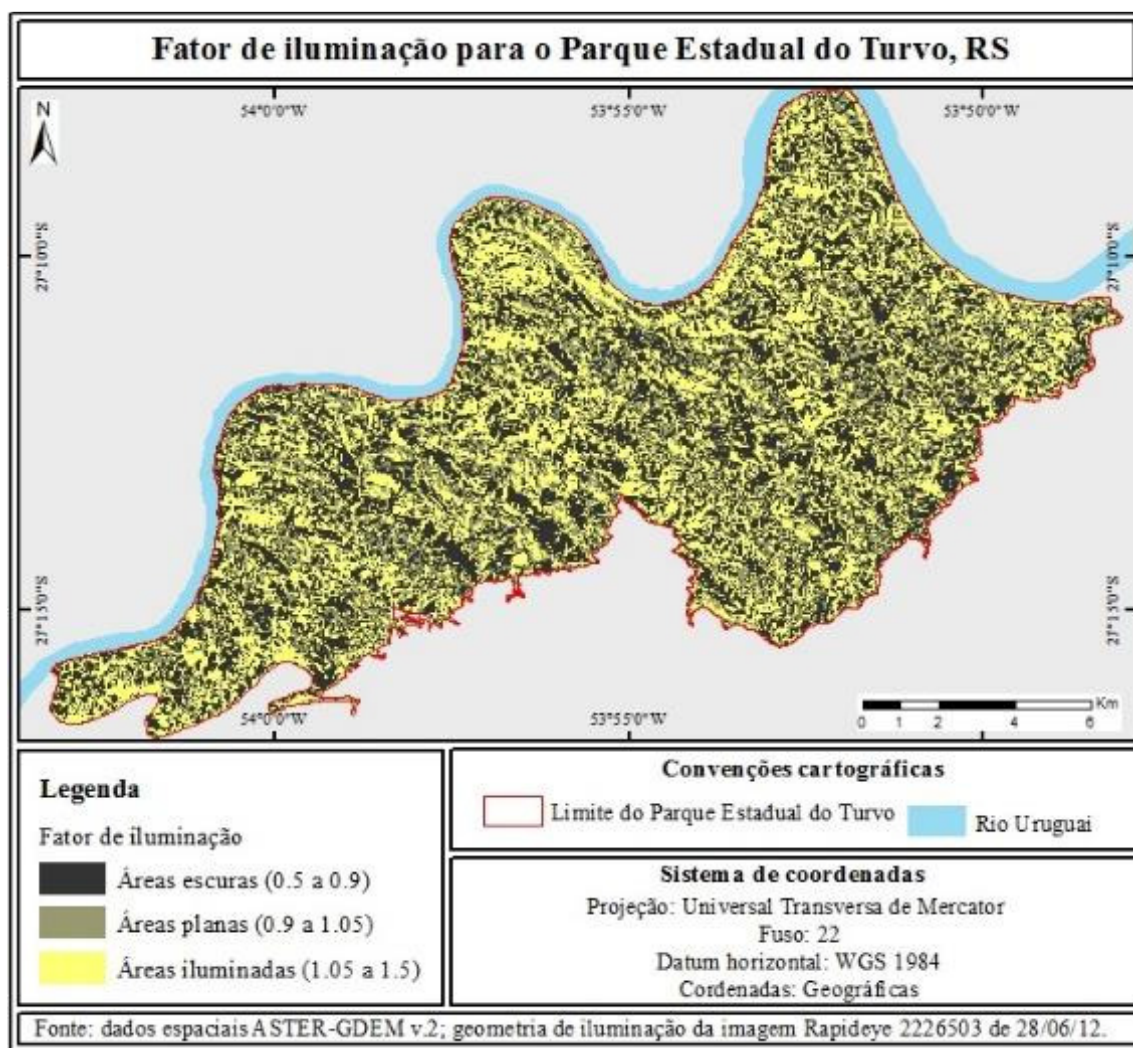


Fig. 9: Mapa do fator de iluminação para a área de estudo.

Analisando os dados obtidos para cada classe (Quadro 2) é possível verificar que a maior porção da área de estudo é representada pela classe de áreas sombreadas, correspondendo a 44,73% (75,830 Km<sup>2</sup>) da área do Parque para a data dos dados de geometria de iluminação utilizados. Estas áreas sombreadas tendem a influenciar diretamente na reflectância da vegetação, conferindo imprecisões nos dados quando se utiliza índices de vegetação, pois estes apresentam valores distintos para áreas sombreadas. No aspecto de orientação de vertentes as áreas contidas nesta classe apresentam orientação de vertentes nas direções sul, sudeste e sudoeste, apresentando também declividades médias e acentuadas, pois geralmente, estas áreas representam faces de vales com orientação oposta à iluminação.

Classe de iluminação	Fator de iluminação	Área (Km <sup>2</sup> )
Escuro	0,5 a 0,9	75,830
Plano	0,9 a 1,05	19,671
Iluminado	1,05 a 1,5	74,031

Quadro 2: Dados do Fator de iluminação para área de estudo.

A segunda classe de maior abrangência na área de estudo é formada pelas áreas iluminadas que ocupam 43,67% (74,031 Km<sup>2</sup>) da área do Parque Estadual do Turvo. Estas áreas apresentam orientação de vertentes nas direções norte, nordeste e noroeste, sendo as faces mais iluminadas do relevo. No aspecto de declividade, as áreas contidas nesta classe apresentam declividade acima de 15°.

A classe correspondente as áreas planas, compreende 11,6% (19,671 Km<sup>2</sup>) da área de estudo. Esta classe apresenta um fator de iluminação intermediário entre as áreas iluminadas e sombreadas devido à baixa declividade que faz com que não ocorram vertentes com direções definidas. A localização destas áreas ocorre geralmente em porções mais elevadas do terreno o que faz com que estas áreas não apresentem um significativo sombreamento causado por formações vizinhas com cotas altimétricas mais elevadas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos de modelagem topográfica utilizados no presente trabalho permitiram a identificação das principais características do relevo do Parque Estadual do Turvo. Além dos dados topográficos, a mensuração das áreas de cada classe das variáveis analisadas possibilitaram identificar a ocorrência das feições, que mostram que embora a área do parque tenha um relevo ondulado, as declividades em sua maior parte apresentam-se baixas, sendo mais pronunciadas próximas a rede de drenagem.

Por se tratar de uma área florestal, na qual são realizados diversos estudos com uso de dados de sensoriamento remoto, dos quais os mais utilizados são os índices de vegetação, a modelagem topográfica permitirá a validação deste tipo de dado, e a identificação das variações sutis nos valores dos índices de vegetação em decorrência de áreas com maior ou menor iluminação. Neste sentido, os dados de orientação de vertentes indicam que a maior parte da área de estudo está orientada para as direções que apresentam maiores índices de iluminação devido a incidência direta de radiação solar, principalmente as áreas das vertentes Norte, Nordeste e Noroeste.

Os dados de declividade e de orientação de vertentes obtidos por meio deste trabalho podem ser utilizados para a identificação do fator de iluminação topográfico, que permitem a verificação das variações da reflectância de um mesmo tipo de cobertura vegetal sob diferentes condições de iluminação.

Com a geração de uma imagem de relevo sombreado verificou-se as linhas estruturais do relevo, marcando os interflúvios e pequenos vales onde os cursos de água formam uma rede de drenagem com um padrão dendrítico em sua maioria.

Sobre as variáveis ressaltadas no objetivo da pesquisa, expõe-se as seguintes considerações:

- De maneira geral a altimetria do parque varia entre 120 e 480 metros com uma amplitude de 360 m, no entanto, ressalta-se que contabilizando as áreas ocupadas por cada classe hipsométrica, a maioria da área de estudo tem altitudes variando de 200 a 360 metros;
- As declividades do terreno variam em sua maioria de 2 a 15 graus;
- Considerando cada uma das orientações de vertentes verificadas, as vertentes com orientação Norte compreendem a maior área ocupada. No entanto se levarmos em consideração a trajetória do sol em um dia no Hemisfério Meridional, a maioria da área do parque tem vertentes orientadas para Leste, Nordeste, Norte, Noroeste e Oeste, quer dizer, são áreas expostas à radiação solar direta, principalmente as vertentes Norte, Nordeste e Noroeste.
- Os dados do fator de iluminação obtido indicaram que para o período de inverno a maior porção da área de estudo apresenta-se com cobertura de sombras, o que caracteriza que as vertentes de maior área apresentam orientação oposta as das condições de iluminação.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo n° 478085/2013-3), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (processo n° 2013/03908-3) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – bolsa de mestrado) pelo apoio financeiro. A Secretaria Estadual do Meio Ambiente – RS pelo apoio à pesquisa em campo.

## REFERÊNCIAS

ABRAMS, M.; HOOK, S.; RAMACHANDRAN, B. *ASTER users handbook*. Pasadena: Jet Propulsion Laboratory, 1999. 93p.

AIRES, J. R.; MOTOKI, A.; MOTOKI, K. F.; MOTOKI, D. F.; RODRIGUES, J. G. Análises geomorfológicas do Platô de Teresópolis e da Serra do Mar, RJ, com o auxílio de seppômen e ASTER-GDEM e sua relação aos tectonismos cenozoicos. *Anuário do Instituto de Geociências*. vol.35, n.2, Rio de Janeiro, 2012.

BEVEN, K. Linking parameters across scales: subgrid parameterizations and scale dependent hydrological model. *Hydrological Processes*, 9, pp. 507 – 525, 1995.

- BEVEN, K.; MOORE, I. D. *Terrain analysis and distributed modeling in hidrology*. New York: Wiley and Sons, 1993.
- BISPO, P. C.; VALERIANO, M. M.; SANTOS, J. R.; GRAÇA, P. M. L. A. Abordagem canônica para análise da geomorfometria local e de atributos estruturais em floresta tropical. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, Curitiba, 2011. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2011, p. 2004 – 2011.
- CANAVESI, V. *Aplicação de dados hiperespectrais na extração de informações qualitativas e quantitativas de plantios florestais do gênero Eucalyptus spp.* 2008. 145 f. Tese (Doutorado em sensoriamento remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.
- CARVALHO, T. M.; LATRUBESSE, E. M. O uso de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.5, n.1, p.85-93, 2004.
- ELMES, G. A.; FUGIKAWA, E. K.; TWERY, M. J. Forest cover type estimation from digital elevation data. In: ANNUAL ESRI USERS CONFERENCE, 11, 1991. Redlands. *Proceedings...* Redlands: Environmental Systems Research Institute, 1991. pp. 389-395.
- EXELIS. *ENVI versão 5.0*. Boulder: Exelis Visual Information Solutions, 2013.
- FLEMING, M. D. An integrated approach for automated cover-type mapping of large inaccessible areas in Alaska. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 54, n. 3, pp. 357-362, 1988.
- GRANELL-PÉREZ, M. C. *Trabalhar geografia com cartas topográficas*. Ijuí: Editora da UNIJUÍ, 2001. p. 128.
- GUERRA, A. T. *Dicionário geológico geomorfológico*. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1980.
- JARVIS, A. J. *Terrain controls on the distribution of tree species diversity and structure in tropical lowland and tropical montane forest*. Thesis PhD, University of London, 2005.
- JENSEN, J. R. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres*. Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p. (Prentice Hall Series in Geographic Information Science) Tradução de: Remote Sensing of the environment: an Earth resource perspective.
- KLEIN, R. M. Árvores nativas da floresta subtropical do Alto Uruguai. *Sellowia*, Itajaí, v. 24, p. 9-62, 1972.
- LIESENBERG, V.; GALVAO, L.; PONZONI, F. Variations in reflectance with seasonality and viewing geometry: Implications for classification of Brazilian savanna physiognomies with MISR/Terra data. *Remote Sensing of Environment*, v. 107, n. 1-2, p. 276–286, 2007.
- MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B.; LADSON, A. R. Digital terrain modeling a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, volume 5, pp. 3–30. 1991.
- MOORE, I. D.; O'LOUGHLIN E. M.; BURCH, G. J. A contour-based topographic model for hydrological and ecological applications. *Earth Surface Processes and Landforms*, volume 13, pp. 305 – 320, 1988.
- OLIVEIRA, M. C. Construção de uma Carta para Determinação de Orientação de Vertentes. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 5 n.2, p. 47-50, 1984.
- POCEWICZ, A., VIERLING, L. A., LENTILE, L. B. SMITH, R. View angle effects on relationships between MISR vegetation indices and leaf area index in a recently burned ponderosa pine forest. *Remote Sensing of Environment*, v.107, p.322-333, 2007.
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA - RS). *Plano de manejo do Parque Estadual do Turvo - RS*. Porto Alegre: Divisão de Unidades de Conservação do Estado do Rio Grande do Sul, 2005, 348 p.
- ROSA, P. A.; BREUNIG, F. M.; BALBINOT, R.; GALVÃO, L. S. Dinâmica da Floresta do Parque Estadual do Turvo com Índices de Vegetação. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 20, n. 4, p. 487-499, 2013.



SOUZA, G. M.; MATRICARDI, E. A. T. Análise comparativa dos modelos de elevação SRTM, ASTER-GDEM e TOPODATA para estimar o fator topográfico (LS) da USLE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, Foz do Iguaçu, 2013. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2013. p. 4435-4442.

TOMER, M. D.; ANDERSON, J. L.; LAMB, J. A. Landscape analysis of soil and crop data using regression. In: ROBERT, P. C. (Ed.). *Site-Specific Management for Agricultural Systems*. Madison: ASA, CSSA & SSSA. pp. 273-248.

VALERIANO, M. M. *Topodata: guia de utilização de dados geomorfométricos locais*. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <http://mtcm18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcz18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 02 Abr. 2014.

VASCONCELLOS, J. M. O.; DIAS, L. L.; SILVA, C. P.; SOBRAL, M. Fitossociologia de uma área de mata subtropical no Parque Estadual do Turvo, RS. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, v. 4, p. 252-259, 1992.

VELÁZQUEZ-ROSAS, N.; MEAVE, J.; VÁZQUEZ-SANTANA, S. Elevation variation of leaf traits in montane rain forest tree species at La Chinantla, Sourthen Mexico. *Biotropica*, v.34, p. 534-546, 2002.

WEBB, E. L.; STANFIELD, B. S.; JENSEN, M. L. Effects of topography on rainforest tree community structure and diversity in American Samoa, and implications for frugivore and nectarivore populations. *Journal of Biogeography*, v.26, n.4, p. 887-897, 1999.

YAMAGUSHI, Y.; FUJISADA, H.; KUDUCH, M.; KAWAKAMI, T.; TSU, H.; KAHLE, A. B.; PNIEF, M. ASTER instrument characterization and operation scenario. *Advances in Space Research*, v. 23, n. 8, p. 1415-1424, 1999.